

第 21 回 国土技術開発賞 入賞

繊維補強モルタルによる 栈橋鋼管杭の杭頭部補修技術 タフリードPJ工法

〔受賞者〕 東亜建設工業株式会社

たなか りょういち

〔本稿執筆者〕 田中 亮一

以下に、第 21 回 国土技術開発賞に入賞した「繊維補強モルタルによる栈橋鋼管杭の杭頭部補修技術」を紹介します。

1. はじめに

栈橋は、船舶が接岸するための係留施設のひとつであり、物流・人流の拠点として我が国の経済活動を支える重要な役割を担っている。現存する栈橋の多くは高度経済成長期に集中的に建設されたため、経年劣化に伴う老朽化が進み、また近年頻発している地震や大型台風襲来等によって、大規模な損壊が発生する可能性が高まっている。

栈橋鋼管杭は、図-1 に示すような様々な要因によって劣化損傷するが、近年、写真-1 に示すような杭頭部付近の劣化損傷事例が散見されている。杭頭部付近における鋼管杭が劣化損傷した場合、杭の力学性能が低下するため、栈橋の安全性の低下に直結し、供用に大きく影響する。

「沿岸技術ライブラリー No.35 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（2009 年版）」には、腐食により力学性能が低下した鋼管杭に対する補修工法として、鋼板接着工法と鉄筋コンクリート巻立て工法が紹介されている。しかし、杭頭部付近の鋼管杭が腐食した場合、鋼板接着工法では補強鋼板

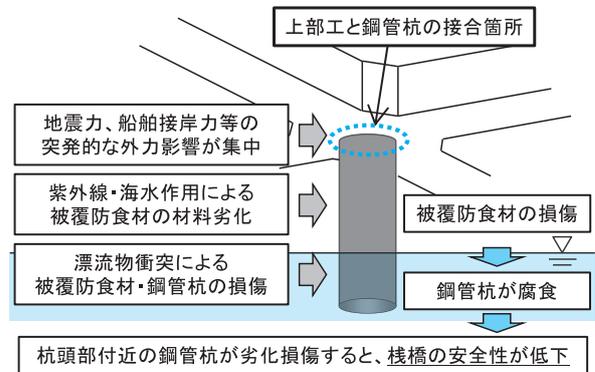


図-1 栈橋鋼管杭の劣化損傷要因

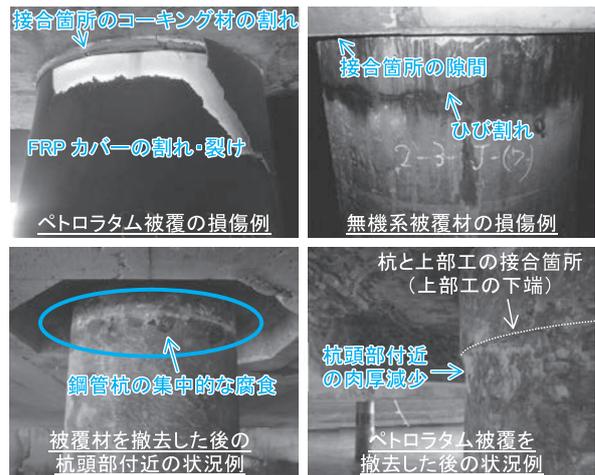


写真-1 栈橋鋼管杭の杭頭部付近の劣化損傷事例

上方での溶接定着長が確保できず適用が難しい（図-2）。一方、鉄筋コンクリート巻立て工法は、一般にコンクリートの巻立て厚が 20 ～ 50 cm 程度となるため、巻立て部の杭断面の剛性や自重が

増加し、断面力分布が変化する（巻立て厚が大きくなることによる設計上の補修効果の不確実性の懸念）。また、杭と上部工の接合箇所にはコーキング材は経年劣化するため、杭頭部付近の鋼管杭が再劣化する懸念があった（図-3）。そのため、杭頭部付近で劣化損傷した鋼管杭の力学性能や耐久性能の回復を確実に期待するには、栈橋の供用を停止または制限し、栈橋上部工を撤去した後に鞘管を既設杭外周に挿入してグラウト接合して栈橋上部工を再構築する方法等しかなかった。

そこで、港湾管理者の意向（予算や施設供用の制限、さらに適用する補修工法の効果や耐用年数等に対するニーズ）に応じて、施設の供用停止や制限、さらには大規模な構造変更を行うことなく（当初の設計思想を大きく変えることなく）、杭頭部付近における劣化損傷を対象とした鋼管杭の補修技術「タフリードPJ工法（Tough and Flexible Advanced Mortar Method for Pile Jacketing）」を開発した。

本稿では本技術の概要を紹介する。

2. 技術の概要

本技術の概要を図-4に、施工フローを図-5に示す。本技術は、杭頭部周辺の上部工の一部をはつり取り（杭頭プレート下端まで：深さ10cm程度）、杭頭プレートを避けた位置にアンカー材を、杭表面の杭軸方向に定着鉄筋を設置し、杭表面からはつり取った箇所まで連続して繊維補強モルタルを巻き立てるものである。繊維補強モルタルは上部工に根入れさせるような形とするため、杭と上部工の接合箇所におけるコーキング処理を不要とした。上部工のはつり、定着鉄筋の溶接、繊維補強モルタルの製造など、既存工法である鉄筋コンクリート巻立て工法と比べて特殊な工種はあるが、施工に要する日数や環境等への配慮事項はほぼ同等である。

本技術で使用する繊維補強モルタルは、高強度・高靱性・高耐久性を同時に併せ持つ繊維補強セメント複合材である（図-6）。本技術では、

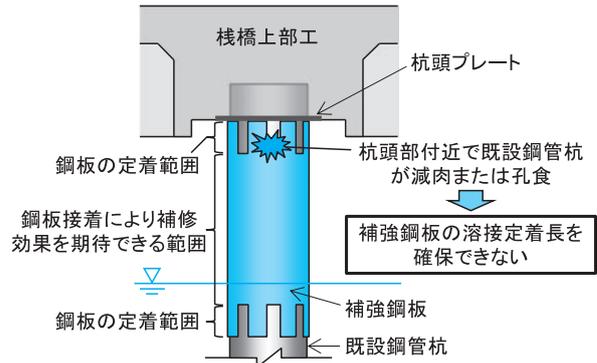


図-2 杭頭部付近で腐食した栈橋鋼管杭に対する鋼板接着工法の課題

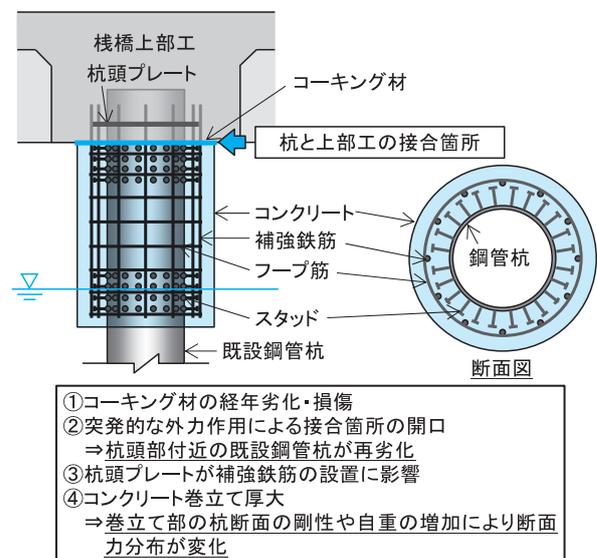


図-3 杭頭部付近で腐食した栈橋鋼管杭に対する鉄筋コンクリート巻立て工法の課題

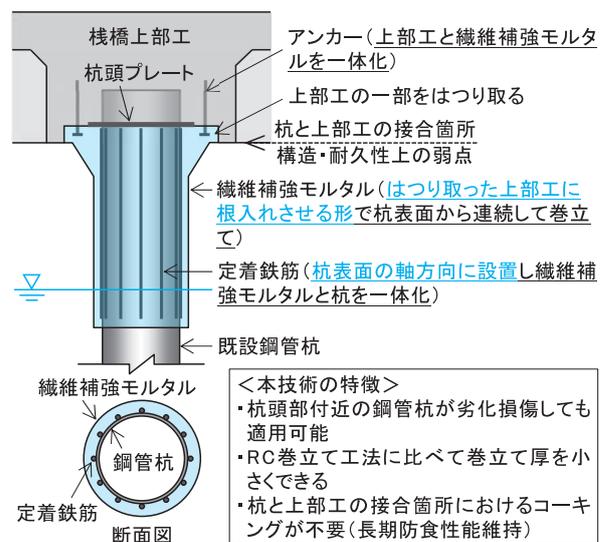


図-4 本技術の概要

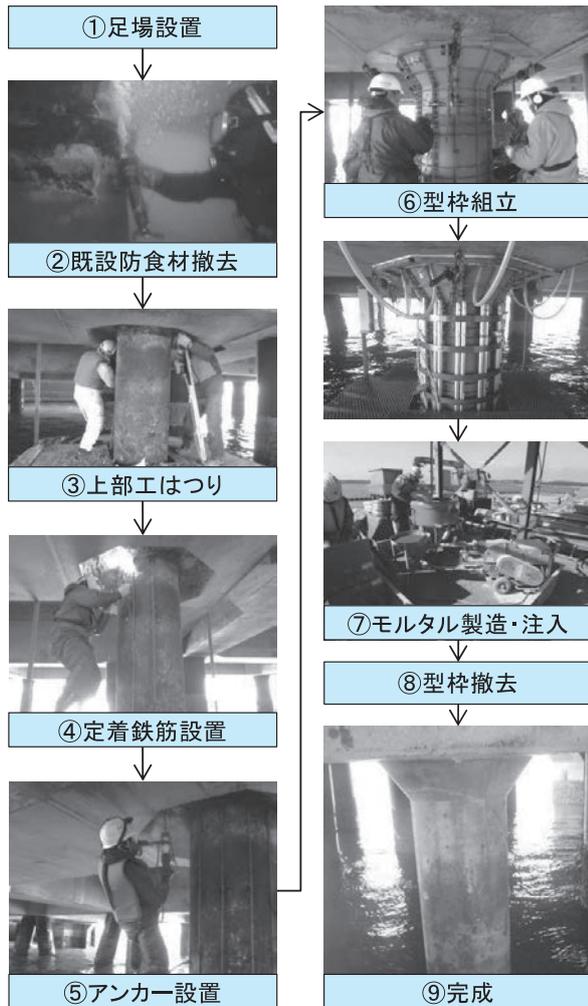


図-5 施工フロー

繊維補強モルタルが有する高強度・高耐久性の特長を利用して巻立て断面の薄肉化（自重の増加を抑制）を実現し、高強度・高靱性の特長を利用して鋼管杭表面との一体化ならびに巻立て断面内の補強鋼材の簡素化（スタッドならびにフープ筋の省略）を図っている。さらに、栈橋に水平力が作用し、杭に曲げが発生した場合でも、杭軸方向に配置する定着鉄筋と繊維補強モルタルが有するひび割れ分散性によって、巻立て表面に生じるひび割れの局所化を防ぐ点も大きな特長である（0.1 mm 以下の複数微細ひび割れが発生）。実海洋環境下で繊維補強モルタル被覆による鋼材に対する防食性能を確認した暴露試験結果を、図-7 に示す。なお、干満帯以深まで繊維補強モルタルを巻き立てることで、被覆防食工も兼ねることが

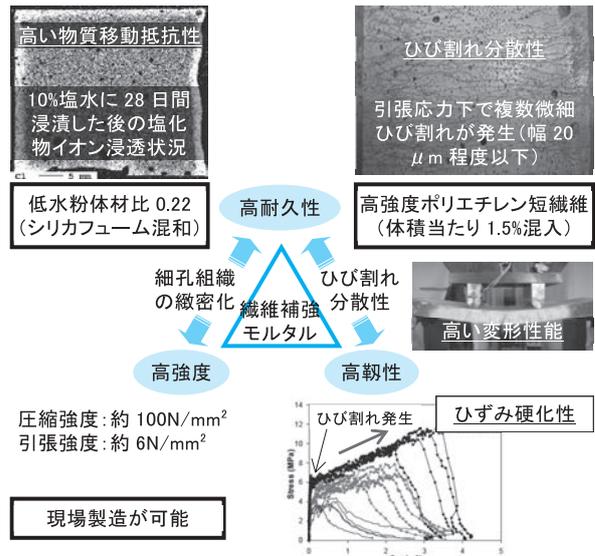


図-6 繊維補強モルタルの特長

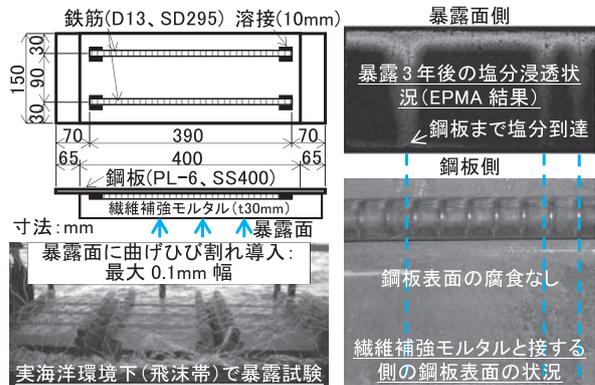
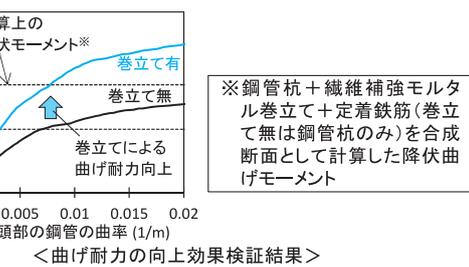
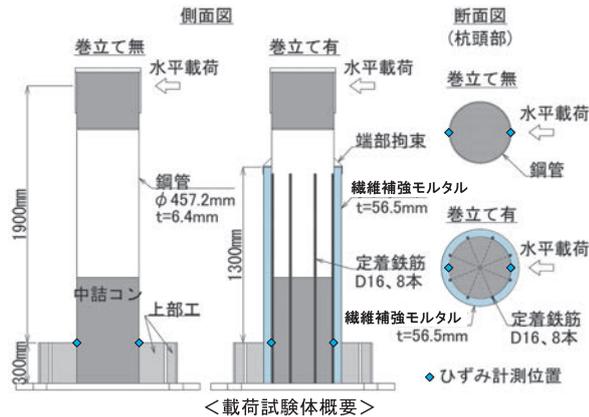


図-7 暴露試験概要と結果

可能である。

3. 技術の適用範囲

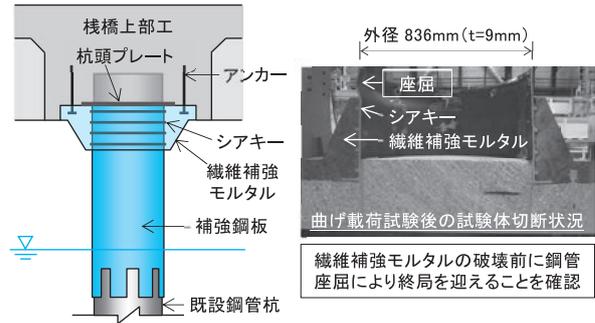
本技術は、既設鋼管杭の残存耐力に加え、鋼管杭表面に配置する定着鉄筋と繊維補強モルタルの巻立て断面によって、杭頭部に作用する曲げや軸力に対する耐力回復を図る工法である。本技術の適用による曲げ耐力向上効果を検証した曲げ載荷試験の結果を、図-8 に示す。本技術は、当初設計で考慮された設計断面力以上（もしくは降伏耐力程度）までの耐力回復を期待する場合に適用可能である。一方、耐震性向上（設計震度の増加）や用途・機能変更に伴う設計外力の変更に対しては適用できない。これは、本技術は劣化損傷した



図－8 曲げ載荷試験概要と結果

杭に限定して適用できるとしているためであり、構造物の改良・補強の扱いとなる場合には、設計外力や照査方法等を最新の技術基準に照らした再設計が必要で、また別工法の選定が経済性等の面で有利になると考えられるためである。なお、再設計の作業には多大な労力を要し、将来にわたって改訂が進められる技術基準類に対する対応（常に最新版を反映した設計法の改善・維持）が必要となることなども理由である。

また、本技術では定着鉄筋を鋼管杭表面にすみ肉溶接するが、定着鉄筋の溶接の確実性を考慮して、既設鋼管杭の残存肉厚が6mm以上の場合に適用できることとしている。なお、本技術の適用にあたっては、杭頭部周辺の上部工が健全であることが前提であり、杭頭部周辺の上部工に損傷等が確認された場合には、断面修復工法等により適切に補修を行った上で本技術を適用する。また、杭頭プレートや上部工の形状は様々であるため、本技術の適用の可否は上部工のはつり形状やアンカー材の配置を十分に検討した上で決定する必要



図－9 改良技術の概要と載荷試験結果の一例

がある。

4. おわりに

本技術は、栈橋の構造上の要である杭頭部付近の鋼管杭が劣化損傷した場合でも、栈橋の施設供用の停止や制限を伴うことなく（栈橋の継続供用により得られる収益を損なうことなく）、栈橋の施設供用を延命化できるものである。しかし、現在、鋼管杭の腐食が著しく進行し、杭頭部付近に孔空きが見られる栈橋も確認されており、そのような場合に対しては本技術の適用は難しかった。このため、鋼管杭の残存肉厚が6mm未満の杭に対しても適用可能な技術改良を進めている（図－9）。既に載荷試験によって曲げ耐力の回復効果や施工システムは確認済みで、現在、実現場への適用検討や長期耐久性に関する情報収集を進めている。

本技術は、栈橋上部工の撤去・更新等のように一時期に発生する補修コストを抑制でき、さらに年間の補修費用の平準化のための方策を検討できるなど、戦略的な維持管理にも寄与できる有用な技術と考えている。今後は施工実績を積み上げ、本技術による補修効果の持続性などの情報収集に努め、更なる開発につなげていきたいと考えている。